

## Stationary simulation tests of exhaust emission in dynamic tests for Diesel engines with various applications

*The significant problem of evaluation of effective properties of Diesel engines, including, among others, ecological properties, is adoption of conditions of engine operation corresponding to conditions of use in testing procedures. The paper presents examples of stationary tests simulating the American dynamic test, i.e. Heavy Duty–Diesel–Transient–Test (HD–D–T–T). An engine with self-ignition and direct injection was tested during dynamic tests, i.e. HD–D–T–T and during stationary tests simulating HD–D–T–T. Results of the tests were analysed. The authors found high sensitivity of results of ecological tests on engine properties to conditions of tests as well as criteria of similarity of engine test conditions to conditions of operation of the engines. It was found that in relation to Diesel engines with other than vehicle applications, i.e. which are less commonly used than in automotive industry, it is necessary to prepare statistics of the results of research test synthesis.*

Key words: Diesel engines, toxicity of exhaust gases, exhaust emissions, test procedures

### Statyczne badania symulacyjne emisji zanieczyszczeń w testach dynamicznych dla silników spalinowych o różnych zastosowaniach

*Istotnym problemem oceny użytkowych właściwości silników spalinowych, w tym m.in. właściwości ekologicznych, jest przyjęcie w procedurach badawczych warunków pracy silników, odpowiadających warunkom użytkowania. W artykule przedstawiono przykładowe testy statyczne symulujące amerykański test dynamiczny Heavy Duty–Diesel–Transient–Test (HD–D–T–T). Przeprowadzono badania silnika o zapłonie samoczynnym z wtryskiem bezpośrednim w teście dynamicznym HD–D–T–T i w testach statycznych symulujących test HD–D–T–T oraz dokonano analizy wyników badań. Stwierdzono dużą wrażliwość wyników badań ekologicznych właściwości silników na warunki przeprowadzania badań, a zatem również na kryteria podobieństwa warunków badań silników do warunków ich eksploatacji. Stwierdzono, że w odniesieniu do silników spalinowych o zastosowaniach innych niż samochodowe, a więc o mniejszej powszechności zastosowania niż w motoryzacji, jest konieczne statystyczne opracowanie wyników syntezy testów badawczych.*

Słowa kluczowe: silniki spalinowe, toksyczność spalin, emisja zanieczyszczeń, procedury badawcze

#### 1. Introduction

Basic problems of testing of effective properties of Diesel engines include adoption of testing conditions and their suitability for conditions of use. As a result of preparation of such conditions, research procedures are created. Especially in the situation, in which Diesel engines are commonly used, e.g. in automotive industry, the procedures may play a role of generally current standards [4]. However, it is also necessary for the tests to cover engines with other applications or engines working in other conditions. In this case, attempts are also made in order to prepare generally applicable standards of research procedures [4, 12, 18, 19]. However, it is often necessary due to special targets of cognitive research to adopt a critical approach to the existing procedures and tackle problems of methodology of evaluation of effective properties of Diesel engines.

As Diesel engines develop and more stringent ecological demands are imposed on Diesel engines, research methods, including certification and cognitive methods, are developed [2, 3, 9–11, 13–15]. It is particularly essential to test the sensitivity of emission of pollution to stationary conditions of the engine operation as expressed in the engine speed and load as well as upon existence of dynamic conditions. The tests are particularly relevant in, among others, situations, in which engines are used

#### 1. Wprowadzenie

Podstawowymi problemami badania użytkowych właściwości silników spalinowych są: przyjęcie warunków badań oraz ich odpowiedność w stosunku do warunków użytkowania. W wyniku opracowania takich warunków powstają procedury badawcze. Szczególnie w sytuacji dużej powszechności zastosowań silników spalinowych, np. w motoryzacji, procedury te mogą odgrywać rolę ogólnie obowiązujących norm [4]. Istnieją jednak również potrzeby objęcia badaniami silników o innych zastosowaniach lub pracujących w innych warunkach. Wtedy także są podejmowane próby opracowania powszechnie obowiązujących standardów procedur badawczych [4, 12, 18, 19]. Często jest jednak konieczne, ze względu na szczególne cele stawiane badaniami poznawczym, krytyczne podejście do istniejących procedur i podejmowanie problemów metodyki oceny użytkowych właściwości silników spalinowych.

W miarę rozwoju silników spalinowych i stawiania im coraz ostrzejszych wymagań ekologicznych są rozwijane metody badawcze, nie tylko certyfikacyjne, ale i poznawcze [2, 3, 9–11, 13–15]. Szczególnie istotne jest badanie wrażliwości emisji zanieczyszczeń na stany statyczne pracy silnika, wyrażone prędkością obrotową i obciążeniem, oraz na występowanie stanów dynamicznych. Badania te mają istotne

for purposes other than automotive. The applications of the engines cause that most frequently occurring stationary conditions of the engine operation differ considerably from the conditions of automotive applications [14, 15]. Similar considerable differences occur within the scope of dynamic conditions [15].

## 2. Simulations of dynamic tests of Diesel engines with the use of stationary tests

Since 1985, when HD–D–T–T dynamic test was introduced in the United States of America, a considerable interest has been observed in preparation of both dynamic and stationary tests simulating dynamic tests [5–8, 16, 17, 20]. Examples of stationary tests simulating HD–D–T–T dynamic tests were prepared in AVL LIST (Anstalt für Verbrennungskraftmaschinen Prof. Dr. H. List) – an 8-mode and 14-mode test [5, 7, 8, 20] and in Steyr–Daimler–Puch AG – an 11-mode test with the use of the universal test points based upon ECE R49 standard test [17]. The tests were prepared in accordance with the criteria of similarity of [6]:

- conditions of the engine operation: equality of average effective power,
- parameters describing effective properties of the engine: equality of average specific brake emissions of particular exhaust components (in [5, 7, 8, 17, 20] emissions of hydrocarbons, nitric oxides and particulate matter were considered).

Examples of stationary tests simulating HD–D–T–T dynamic test are presented in Fig. 1–3.

The description of research tests on Diesel engines performed in an engine test stand, the notions of relative engine speed and relative engine torque were introduced [14, 15]: the relative engine speed is

$$n_w = \frac{n - n_{id}}{n_N - n_{id}} \quad (1)$$

where:  $n$  – engine speed,  $n_{id}$  – minimum engine speed at idle run,  $n_N$  – rated engine speed.

The relative torque for the engine speed  $n$  is related to the engine torque on the external speed characteristics for the same speed:

$$M_{ew} = \frac{M_e(n)}{M_{ez}(n)} \quad (2)$$

where:  $M_e(n)$  – the engine torque for engine speed  $n$ ,  $M_{ez}(n)$  – the engine torque on the external speed characteristics for the engine speed  $n$ .

The area of particular point circles in relative coordinates of the engine speed and torque in Fig. 1–3 are proportional to the share of particular modes of operation in the tests.

Various criteria of synthesis of stationary tests simulating HD–D–T–T dynamic test cause that the stationary tests differ considerably in terms of shares of particular modes.

## 3. Results of tests of exhaust emissions in stationary tests simulating the dynamic test

Comparative tests in HD–D–T–T dynamic test and stationary tests simulating HD–D–T–T dynamic test were

znaczenie m.in. wtedy, gdy silniki mają inne zastosowania niż motoryzacyjne. Zastosowania te powodują, że najczęściej występujące statyczne stany pracy silników znacznie się różnią od stanów do zastosowań motoryzacyjnych [14, 15]. Podobnie znaczne różnice występują w zakresie występowania stanów dynamicznych [15].

## 2. Symulacje testów dynamicznych silników spalinowych testami statycznymi

Od roku 1985, gdy w Stanach Zjednoczonych Ameryki wprowadzono test dynamiczny HD–D–T–T, zauważa się duże zainteresowanie opracowywaniem zarówno testów dynamicznych, jak i statycznych, symulujących testy dynamiczne [5–8, 16, 17, 20]. Przykładowe testy statyczne symulujące test dynamiczny HD–D–T–T opracowano w AVL LIST (*Anstalt für Verbrennungskraftmaschinen Prof. Dr. H. List*) – test ośmiofazowy i czternastofazowy [5, 7, 8, 20] oraz w Steyr–Daimler–Puch AG – test jedenastofazowy, z zastosowaniem punktów testu uniwersalnego, opartego na standardzie testu ECE R49 [17]. Testy te opracowano zgodnie z kryteriami podobieństwa [6]:

- stanów pracy silnika: równości średniej mocy użytecznej,
- wielkości opisujących właściwości użytkowe silnika: równości średnich emisji jednostkowych poszczególnych substancji szkodliwych (w [5, 7, 8, 17, 20] rozpatrywano emisję węglowodorów, tlenków azotu i cząstek stałych).

Przykładowe testy statyczne symulujące test HD–D–T–T przedstawiono na rysunkach 1–3.

Do opisu testów badawczych silników spalinowych, wykonywanych na hamowni silnikowej, wprowadzono pojęcia względnej prędkości obrotowej i względnego momentu obrotowego [14, 15]; względna prędkość obrotowa wynosi (1), gdzie:  $n$  – prędkość obrotowa,  $n_{id}$  – minimalna prędkość obrotowa biegu jałowego,  $n_N$  – znamionowa prędkość obrotowa.

Względny moment obrotowy dla prędkości obrotowej  $n$  jest odnoszony do momentu obrotowego na zewnętrznej charakterystyce prędkościowej dla tej samej prędkości – wzór (2), gdzie:  $M_e(n)$  – moment obrotowy dla prędkości obrotowej  $n$ ,  $M_{ez}(n)$  – moment obrotowy na zewnętrznej charakterystyce prędkościowej dla prędkości obrotowej  $n$ .

Pola powierzchni kół poszczególnych punktów we współrzędnych względnych prędkości obrotowej i momentu obrotowego na rysunkach 1–3 są proporcjonalne do udziałów poszczególnych faz pracy w testach.

Różne kryteria syntezy testów statycznych, symulujących test dynamiczny HD–D–T–T, powodują, że testy statyczne znacznie się różnią ze względu na udziały poszczególnych faz.

## 3. Wyniki badań emisji spalin w testach statycznych symulujących test dynamiczny

Badania porównawcze w teście dynamicznym HD–D–T–T oraz w testach statycznych symulujących test dynamiczny HD–D–T–T wykonano na silniku Detroit Diesel

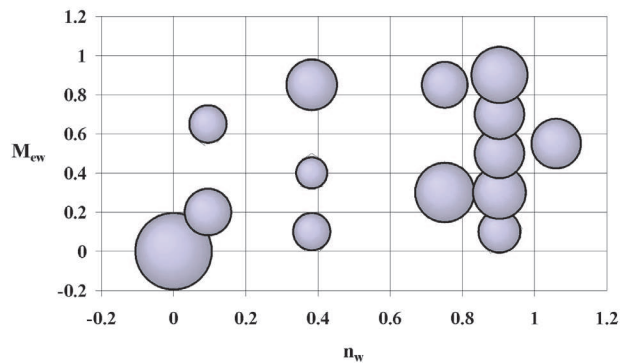


Fig. 1. The diagram depicting the 14-mode test simulating HD-D-T-T test in accordance with the criterion of equality of relative effective power

Rys. 1. Schemat testu czternastofazowego symulującego test HD-D-T-T zgodnie z kryterium równości średniej mocy użytecznej

performed on Detroit Diesel Series 50. It is a 4-cylinder self-ignition straight engine, direct injection and of engine displacement of  $8.5 \text{ dm}^3$ . The rated effective power is 205 kW for engine speed of  $2100 \text{ min}^{-1}$ , maximum engine torque is 1207 N·m at  $1200 \text{ min}^{-1}$ . The tests were performed in HD-D-T-T dynamic test and stationary conditions in the universal test points. The test results in 8-mode and 14-mode test points, which do not correlate with the universal test points, were determined with the use of linear interpolation in 3D for results of empirical tests [1].

Figures 4–9 present examples of test results: specific brake emissions of carbon oxide –  $e_{\text{CO}}$ , hydrocarbons –  $e_{\text{HC}}$ , nitric oxides –  $e_{\text{NOx}}$  and particulate matter –  $e_{\text{PM}}$  were determined in the following tests:

- ECE R49,
- HD-D-T-T,
- 11-mode – stationary one-mode test simulating HD-D-T-T,
- 8-mode – stationary 8-mode test simulating HD-D-T-T,
- 14-mode – stationary 14-mode test simulating HD-D-T-T.

In accordance with the criteria: for all tests of equality of average effective power – marking –  $N_e$  and for 11-Mode and 8-Mode tests:

- average specific brake emission of hydrocarbons – marking HC,
- average specific brake emission of nitric oxides –  $\text{NO}_x$ ,
- average specific brake emission of particulate matter – PM.

The tests confirm regularity of greater values of specific brake emission of carbon oxide, hydrocarbons and particulate matter in the dynamic test. In relation to carbon monoxide and hydrocarbons, engine braking phases in the dynamic test have particular significance for this fact. In relation to particulate matter, the most important dynamic phenomenon determining increase of emissions is acceleration of the engine speed in the part of engine operation modes in the dynamic test. Specific brake emission of nitric oxides is least sensitive both to stationary conditions and occurrence of dynamic conditions.

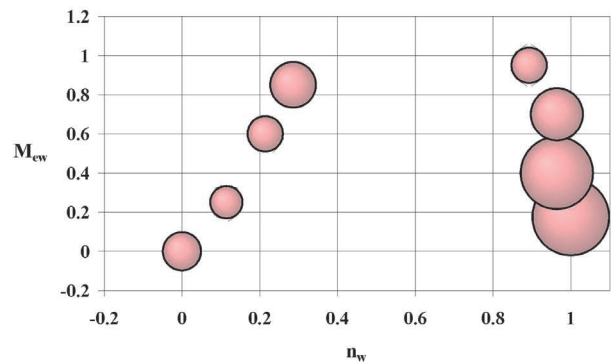


Fig. 2. The diagram depicting the 8-mode test simulating HD-D-T-T test in accordance with the criterion of equality of average specific brake emission of nitric oxides

Rys. 2. Schemat testu ośmiofazowego symulującego test HD-D-T-T zgodnie z kryterium równości średniej emisji jednostkowej tlenków azotu

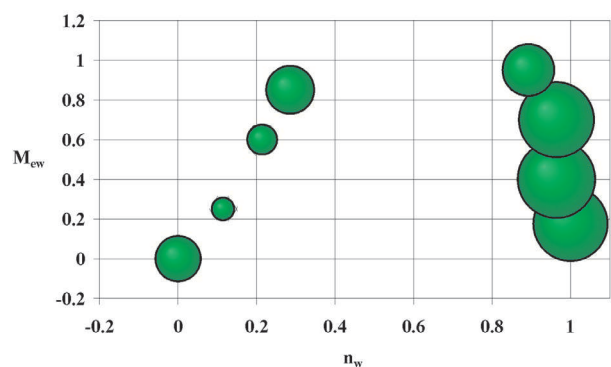


Fig. 3. The diagram depicting the 8-mode test simulating HD-D-T-T test in accordance with the criterion on equality of average specific brake emission of particulate matter

Rys. 3. Schemat testu ośmiofazowego symulującego test HD-D-T-T zgodnie z kryterium równości średniej emisji jednostkowej cząstek stałych

Series 50. Jest to silnik 4-cylindrowy rzędowy o zapłonie samoczynnym z wtryskiem bezpośrednim o objętości skokowej  $8,5 \text{ dm}^3$ . Znamionowa moc użyteczna wynosi 205 kW przy prędkości obrotowej  $2100 \text{ min}^{-1}$ , maksymalny moment obrotowy 1207 N·m przy  $1200 \text{ min}^{-1}$ . Badania wykonano w teście dynamicznym HD-D-T-T oraz w warunkach statycznych w punktach testu uniwersalnego. Wyniki badań w punktach testów ośmiofazowego i czternastofazowego, niepokrywających się z punktami testu uniwersalnego, wyznaczono, stosując interpolację liniową w przestrzeni trójwymiarowej wyników badań empirycznych [1].

Na rysunkach 4–9 przedstawiono przykładowe wyniki badań: wyznaczono emisje jednostkowe tlenku węgla –  $e_{\text{CO}}$ , węglowodorów –  $e_{\text{HC}}$ , tlenków azotu –  $e_{\text{NOx}}$  i cząstek stałych –  $e_{\text{PM}}$  w testach:

- ECE R49,
- HD-D-T-T,
- 11-mode – statyczny test jedenastofazowy symulujący test HD-D-T-T,
- 8-mode – statyczny test ośmiofazowy symulujący test HD-D-T-T,

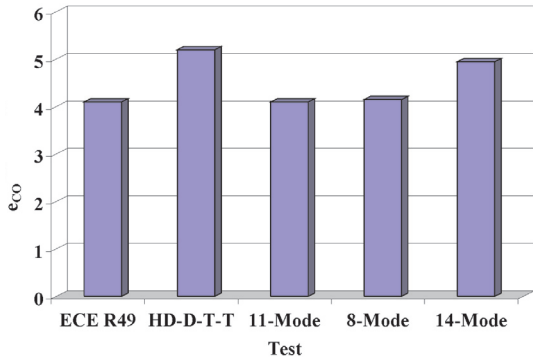


Fig. 4. Specific brake emission of carbon monoxide in tests determined in accordance with the criterion of equality of average effective power  
 Rys. 4. Emisja jednostkowa tlenku węgla w testach wyznaczonych zgodnie z kryterium równości średniej mocy użytecznej

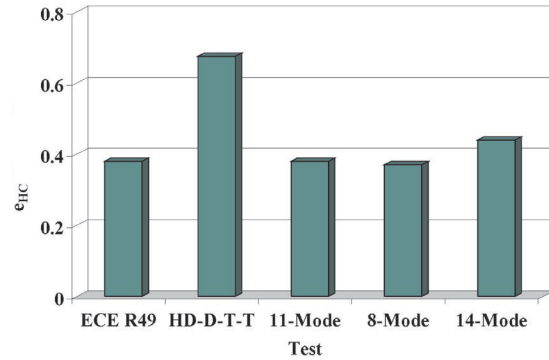


Fig. 5. Specific brake emission of hydrocarbons in tests determined in accordance with the criterion of equality of average effective power  
 Rys. 5. Emisja jednostkowa węglowodorów w testach wyznaczonych zgodnie z kryterium równości średniej mocy użytecznej

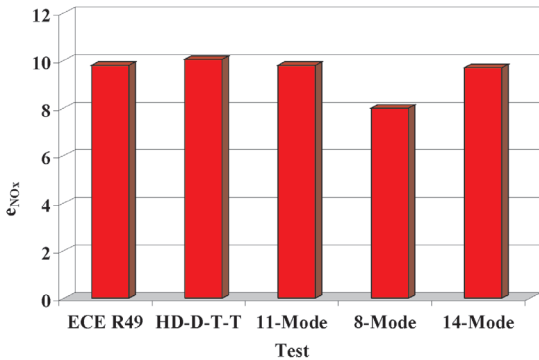


Fig. 6. Specific brake emission of nitric oxides in tests determined in accordance with the criterion of equality of average effective power  
 Rys. 6. Emisja jednostkowa tlenków azotu w testach wyznaczonych zgodnie z kryterium równości średniej mocy

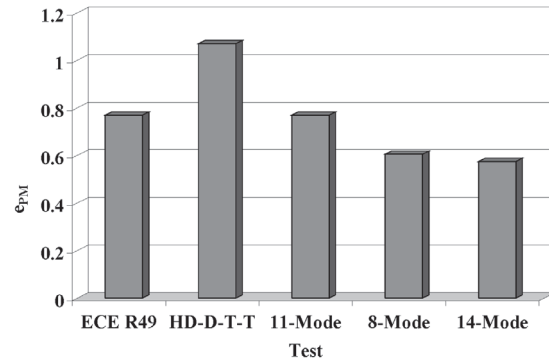


Fig. 7. Specific brake emission of particulate matter in tests determined in accordance with the criterion of equality of average effective power  
 Rys. 7. Emisja jednostkowa cząstek stałych w testach wyznaczonych zgodnie z kryterium równości średniej mocy użytecznej

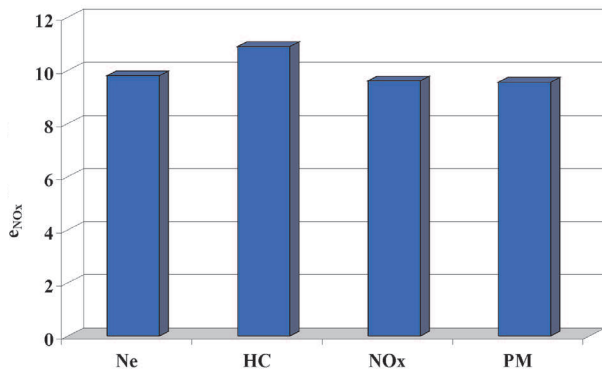


Fig. 8. Specific brake emission of nitric oxides in 11-mode tests determined in accordance with various criteria of similarity  
 Rys. 8. Emisja jednostkowa tlenków azotu w testach jedenastofazowych wyznaczonych zgodnie z różnymi kryteriami podobieństwa

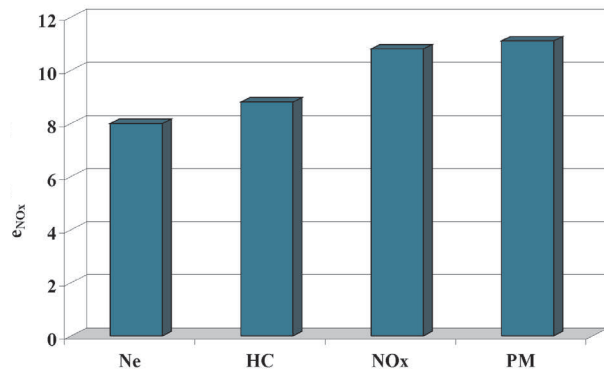


Fig. 9. Specific brake emission of nitric oxides in 8-mode tests determined in accordance with various criteria of similarity  
 Rys. 9. Emisja jednostkowa tlenków azotu w testach ośmiofazowych wyznaczonych zgodnie z różnymi kryteriami podobieństwa

In order to determine the sensitivity of specific brake emissions of particular components of exhaust gases to criteria of synthesis of the tests, for combination of the tests and substances variability coefficients were determined as constituting relations between average standard deviations and average values

– 14-mode – statyczny test czternastofazowy symulujący test HD-D-T-T  
 zgodnie z kryteriami: dla wszystkich testów równości średniej mocy użytecznej – oznaczenie –  $N_e$  oraz dla testów 11-mode i 8-mode:

$$W = \frac{D}{AV} \quad (3)$$

where:

$$AV = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N e_{(i)} \quad (4)$$

$$D = \frac{1}{N} \cdot \sqrt{N \cdot \sum_{i=1}^N e_{(i)}^2 - \left( \sum_{i=1}^N e_{(i)} \right)^2} \quad (5)$$

$N=4$ ,  $i=1$  – the criterion of test synthesis according to equality of average effective power,  $i=2$  – the criterion of test synthesis according to equality of average specific brake emission of hydrocarbons,  $i=3$  – the criterion of test synthesis according to equality of average specific brake emission of nitric oxides,  $i=4$  – the criterion of test synthesis according to equality of average specific brake emission of particulate matter.

The results of tests on the sensitivity of specific brake emissions of particular components of the exhaust gases to criteria of test synthesis are presented in Fig. 10.

The determined coefficients of variability of specific brake emissions of particular components of exhaust gases to criteria of the test synthesis have great values. As various criteria of the test synthesis imply various stationary conditions of the engine operation, this means high sensitivity of specific brake emissions to stationary conditions of the engine operation. A decisively greater sensitivity exists for 8-Mode test, which results undoubtedly from the fact that discretization of the task of approximation of emission characteristics in coordinates of stationary conditions of the engine operation is more synthetic for 8-Mode than for 11-Mode test.

#### 4. Conclusions

The experience gained during performance of stationary tests simulating HD–D–T–T dynamic test and presented in this study and published sources [5–8, 16, 17, 20] enable drawing the following conclusions:

1. The results of tests on effective properties (and, in particular, ecological properties) of Diesel engines often depend on conditions of the tests. This complies with a general principle that properties of non-linear systems depend on conditions, in which the systems exist [6].
2. From the first conclusion, there results undoubtedly a considerable relativism of the results of tests on Diesel engines as determined with the use of various methods. Thus, unification of research methods is a necessary procedure, as high indefiniteness of factors determining operation of Diesel engines in real use makes it possible to treat properties of the engines as accidental.
3. It is especially important to determine conventional conditions of representative tests for conditions of use in relation to Diesel engines that are used for less common purposes as compared to use in automotive industry. Despite preparation of unified research procedures that enable conventional and objective evaluation of ecological properties of Diesel engines it is necessary, at least on the level of cognitive research, to adopt a critical approach to the issue and search for general regularities between ecological relations of properties of Diesel engines and conditions in which they

- średniej emisji jednostkowej węglowodorów – oznaczenie HC,
- średniej emisji jednostkowej tlenków azotu –  $\text{NO}_x$ ,
- średniej emisji jednostkowej cząstek stałych – PM.

W badaniach potwierdza się regularność większych wartości emisji jednostkowej tlenu węgla, węglowodorów i cząstek stałych w teście dynamicznym. W odniesieniu do tlenu węgla i węglowodorów szczególne znaczenie mają dla tego faktu fazy hamowania silnikiem w teście dynamicznym. W odniesieniu do cząstek stałych najważniejszym zjawiskiem determinującym zwiększanie się emisji jest przyspieszanie prędkości obrotowej w części faz pracy silnika w teście dynamicznym. Najmniej wrażliwa zarówno na stany statyczne, jak i występowanie stanów dynamicznych jest emisji jednostkowa tlenków azotu.

W celu oceny wrażliwości emisji jednostkowych poszczególnych składników spalin na kryteria syntezy testów wyznaczono dla kombinacji testów i substancji współczynniki zmienności, będące stosunkami średnich odchyłeń standardowych i wartości średnich – wzór (3), gdzie: AV (4) i D (5),  $N=4$ ,  $i=1$  – kryterium syntezy testu według równości średniej mocy użytecznej,  $i=2$  – kryterium syntezy testu według równości średniej emisji jednostkowej węglowodorów,  $i=3$  – kryterium syntezy testu według równości średniej emisji jednostkowej tlenków azotu,  $i=4$  – kryterium syntezy testu według równości średniej emisji jednostkowej cząstek stałych.

Wyniki badań wrażliwości emisji jednostkowych poszczególnych składników spalin na kryteria syntezy testów przedstawiono na rysunku 10.

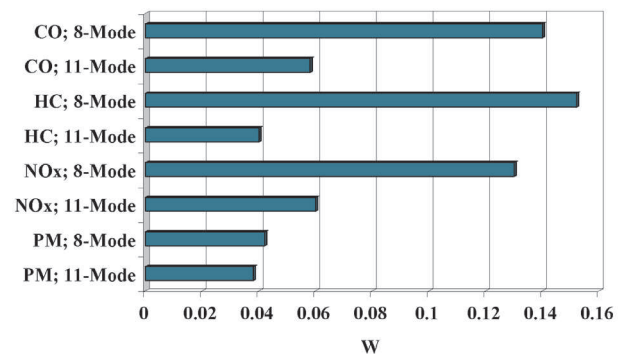


Fig. 10. Sensitivity of specific brake emissions in particular tests to criteria of similarity of the tests

Rys. 10. Wrażliwość emisji jednostkowych w poszczególnych testach na kryteria podobieństwa testów

Wyznaczone współczynniki zmienności emisji jednostkowych poszczególnych składników spalin na kryteria syntezy testów mają duże wartości. Ponieważ różne kryteria syntezy testów implikują różne statyczne stany pracy silnika, oznacza to dużą wrażliwość emisji jednostkowej zanieczyszczeń na statyczne stany pracy silnika. Zdecydowanie większa wrażliwość występuje dla testu 8-fazowego, co wynika niewątpliwie z bardziej syntetycznej niż dla testu 11-fazowego dyskretyzacji zadania aproksymacji charakterystyk emisji we współrzędnych statycznych stanów pracy silnika.

operate, e.g. for some classes of accidental processes, describing conditions of the engine operation.

4. For most applications of Diesel engines, dynamic research tests ensure conditions that correspond to conditions of use much more than stationary tests. However, stationary tests of Diesel engines are easier to perform and do not require much laboratory equipment.

## Bibliography/Literatura

- [1] Achiezer N.I.: Theory of approximation. Frederick Ungar Publishing. New York 1956.
- [2] Ajtay D., Weilenmann M.: Stationary and dynamic instantaneous emission modelling. *International Journal of Environment and Pollution* 2004/22(3), 226-239.
- [3] Ajtay D.: Modal pollutant emissions model of diesel and gasoline engines. The dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. Zurich 2005.
- [4] AVL Consulting and Information: Current and future exhaust emission legislation. AVL List GmbH. Graz 2010.
- [5] Cartellieri W.P., Ospelt W.M., Landfaher K.: Erfüllung der Abgasgrenzwerte von Nutzfahrzeug-Dieselmotoren der 90er Jahre. *MTZ* Nr. 50. 9/1989.
- [6] Chłopek Z.: Modelowanie procesów emisji spalin w warunkach eksploatacji trakcyjnej silników spalinowych. (Modelling of exhaust emission processes in operations conditions of internal combustion engines). *Prace Naukowe. Seria Mechanika* z. 173. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 1999 (in Polish).
- [7] Cornetti G.M., Klein K., Fränkle G.J., Stein H.J.: US transient cycle versus ECE R49 mode cycle. *SAE Paper* 880715.
- [8] Fränkle G., Stein H.J.: Instationäre oder stationäre Abgasprüfverfahren für Nutzfahrzeug-Dieselmotoren? *Automobiltechnischezeitschrift* 90.1-11.
- [9] Hausberger S., Rexeis M.: Emission behaviour of modern heavy duty vehicles in real world driving. *International Journal of Environment and Pollution*. Issue: Volume 22, Number 3/2004, 275-286.
- [10] Hickman A.J., Graham M.A.: Performance related exhaust emissions from heavy duty diesel engines. *The Science of The Total Environment*. Vol. 134, Issues 1-3, 25 June 1993, 211-223.
- [11] Hirsch M., Oppenauer K., del Re L.: Dynamic engine emission models. *Automotive Model Predictive Control. Lecture Notes in Control and Information Sciences*, 2010, Vol. 402/2010, 73-87.
- [12] ISO 08178: „Reciprocating internal combustion engines – Exhaust emission measurement – Part 4: Test cycles for different engine applications”.
- [13] Kang H., Farrell P.V.: Experimental investigation of transient emissions (HC and NO<sub>x</sub>) in a high speed direct injection (HSDI) diesel engine. *SAE Technical Paper* 2005-01-3883.
- [14] Marecka-Chłopek E., Budny E., Chłopek Z., Chłosta M.: Identification of combustion engine stationary states in real operation conditions of a building machine. *Scientific Problems of Machines Operation and Maintenance* 4(156) Vol. 43/2008, 69-84.
- [15] Marecka-Chłopek E., Chłopek Z.: Pollutants emission problems from the combustion engines of other applications than motor cars. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* nr 3 (35)/2007, 81-85.
- [16] Moser F.X., Haas E., Schlögl H.: Zur Partikelemission von Nutzfahrzeug-Dieselmotoren. *MTZ* Nr. 51 (1990) 5.
- [17] Moser F.X., Haas E., Schlögl H.: Die Partikel-Hürde U.S. 1991: Vergleich der Testverfahren für Nutzfahrzeugmotoren – Bewältigung mittels innermotorischer Maßnahmen. 10.

## 4. Podsumowanie

Doświadczenia z symulacji testami statycznymi testu dynamicznego HD-D-T-T, wykonanymi w niniejszej pracy oraz w publikowanych źródłach [5-8, 16, 17, 20] uprawniają do sformułowania następujących wniosków:

1. Wyniki badań użytkowych właściwości (szczególnie ekologicznych) silników spalinowych często bardzo mocno zależą od warunków wykonywania badań. Jest to zgodne z ogólnie obowiązującą prawdą, że właściwości układów nieliniowych zależą od warunków, w jakich się te układy znajdują [6].
2. Z pierwszego wniosku wynika w nieunikniony sposób znaczny relatywizm wyników badań silników spalinowych, wyznaczonych różnymi metodami. Unifikacja metod badawczych jest zatem koniecznym sposobem postępowania, gdyż duża nieokreśloność czynników determinujących pracę silników spalinowych w rzeczywistym użytkowaniu uprawnia do traktowania właściwości tych silników jako przypadkowych.
3. Szczególnie ważna jest umowa na temat warunków badań reprezentatywnych dla warunków użytkowania w odniesieniu do silników spalinowych o zastosowaniach nie tak powszechnych jak w motoryzacji. Mimo opracowania zunifikowanych procedur badawczych, umożliwiających umownie obiektywną ocenę ekologicznych właściwości silników spalinowych, konieczne jest – przynajmniej na poziomie badań poznawczych – krytyczne podejście do tego zagadnienia i poszukiwanie ogólnych prawidłowości zależności ekologicznych właściwości silników spalinowych od warunków, w jakich się one znajdują, np. dla pewnych klas procesów przypadkowych, opisujący warunki pracy silników.
4. Dla większości zastosowań silników spalinowych dynamiczne testy badawcze zapewniają warunki znacznie bardziej odpowiadające warunkom użytkowania niż testy statyczne. Testy statyczne są jednak prostszym do przeprowadzenia sposobem badań silników spalinowych oraz stawiają przed badającymi mniejsze wymagania sprzętowe laboratoriów.

*Paper reviewed/Artykuł recenzowany*

- Internationales Wiener Symposium. VDI Fortschritt Berichte. Reihe 12. Nr. 122. VDI Verlag. Düsseldorf 1989.
- [18] SAE Recommended Practice: Test Procedure for the Measurement of Gaseous Exhaust Emissions from Small Utility Engines. *SAE J1088*; February 1993.
  - [19] US EPA Nonregulatory Nonroad Duty Cycles. August 1999.
  - [20] Wachter W., Cartellieri W.: Wege zur Erfüllung zukünftiger Emissionsgrenzwerte bei LKW Dieselmotoren. 8. Internationales Motorensymposium. VDI Fortschritt Berichte. Reihe 12. Nr. 86. VDI Verlag. Düsseldorf 1987.

Zdzisław Chłopek, DSc., DEng. – Professor in the Faculty Automotive and Construction Machinery Engineering at Warsaw University of Technology.

*Dr hab. inż. Zdzisław Chłopek – profesor na Wydziale Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej.*

e-mail: [zchlopek@simr.pw.edu.pl](mailto:zchlopek@simr.pw.edu.pl)

